



L'expérience allemande de la méthanisation à la ferme : transposition au contexte français

Compte tenu d'une politique d'achat de l'électricité peu incitative, la centaine d'unités de méthanisation construites en France entre 1975 et 1985 ont toutes disparu. Cependant, la production du biogaz agricole pourrait être re-dynamisée par l'annonce, en 2005, du ministère de l'écologie et du développement durable d'augmenter le prix d'achat de l'électricité. Dans ce contexte, il est intéressant d'analyser la situation allemande, ce pays disposant d'une expérience sans équivalent avec, en 2006, près de 3000 unités en fonctionnement. Après quelques rappels sur les principes de fonctionnement de la méthanisation, l'objectif de cet article est d'étudier les techniques mises en œuvre chez notre voisin européen et d'évaluer la possibilité et l'intérêt de les transposer au contexte Français.

Une mission d'étude en Allemagne, organisée par Solagro les 1^{er} et 2 mars 2006, aura été l'occasion de faire le point sur ce procédé de traitement des effluents d'élevage. La visite de cinq unités de méthanisation, représentatives de la diversité des solutions mises en œuvre (situées à Walzbachtal, Aspach, Wolpertshausen, Berggau et Petersaurach), ainsi que la rencontre de constructeurs ou spécialistes de la méthanisation (Fachverband Biogas e.V.- Agrikomp France - Internationales Biogas und Bioenergies Kompetenzzentrum) constituent le support de cette communication.

Principe global et intérêt de la méthanisation

La méthanisation est une transformation biologique anaérobie de la matière organique fermentescible en biogaz. Dans un digesteur, de multiples populations bactériennes en présence sont mobilisées de manière sélective dans une succession de réactions : hydrolyse, acidogénèse, méthanogénèse. Ces proces-

sus conduisent à la production de méthane (60 %), de gaz carbonique (40 %) et d'eau. De l'hydrogène sulfurique, gaz particulièrement corrosif et toxique, est également produit en petite quantité. Ces bactéries sont naturellement présentes dans les effluents d'élevages ; toutefois le choix d'une température de 35-40°C, permettant le développement de la flore mésophile, est généralement adopté. Le digesteur doit donc être chauffé et isolé thermiquement. Des co-substrats secs sont ajoutés aux effluents d'élevage liquides pour en augmenter la capacité méthanogène (un lisier de porc contient généralement plus de 95 % d'eau). Il peut s'agir de déchets de cuisine, de résidus gras, de paille, d'herbe, de cultures énergétiques, ... La diversité des intrants est d'ailleurs une condition nécessaire au bon déroulement des différentes étapes de la méthanisation, le rapport C/N du mélange devant être compris entre 20 et 30.

Le biogaz ainsi produit est destiné à la production d'énergie thermique et électrique

Résumé

L'augmentation, en 2006, du prix d'achat de l'électricité issue du biogaz devrait relancer l'intérêt de la méthanisation agricole en France. Dans ce contexte, une mission d'étude, illustrée par la visite de 5 installations, a permis de faire le point sur l'expérience allemande. Les tarifs d'achat de l'électricité y sont de 15 à 21 ct. €/kWh soit les plus élevés d'Europe. Les conditions d'exploitation sont directement liées aux incitations tarifaires : ainsi, l'utilisation de cultures énergétiques est très fréquente car elle permet d'obtenir une prime de 6 ct. €/kWh alors que la valorisation de l'énergie thermique, moins subventionnée avec seulement 2 ct. €/kWh, ne constitue pas une priorité. En France, où les conditions d'achat de l'électricité ne devraient pas être aussi favorables, la rentabilité des projets de méthanisation dépendra pour beaucoup des conditions de valorisation de l'énergie thermique.

Pascal Levasseur



En France, le contexte va devenir plus favorable.

Les tarifs d'achat de l'électricité atteindraient ainsi 11 à 14 ct.€/kWh.

Ces nouveaux tarifs restent bien en deçà de ceux pratiqués en Allemagne.

() Au delà, diminution linéaire du tarif de référence pour arriver à 7,5 ct. €/kWh à partir de 2 MW.*

(dans des proportions de 2/3 - 1/3 de l'énergie brute) via un cogénérateur ou seulement d'énergie thermique en absence de cogénérateur. Quelques pour cent de l'énergie électrique sont autoconsommés, le reste étant généralement vendu. En Allemagne, cette dernière constitue la principale source de revenu (voir encadré). En France, le contexte va devenir plus favorable suite, en 2005, à la proposition du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable d'augmenter le prix d'achat de l'électricité. Le projet d'arrêt prévoit un tarif de base de 9 ct.€/kWh pour les installations de moins de 150 kW (*). Il s'y ajouterait 2 ct.€/kWh de prime à la méthanisation quand les matières traitées sont notamment d'origine agricole et 3 ct.€/kWh si la valorisation de l'énergie produite est au moins 75 % (y compris pour le chauffage du digesteur). Les tarifs d'achat de l'électricité atteindraient ainsi 11 à 14 ct.€/

kWh contre 4,6 à 7,8 ct.€/kWh aujourd'hui, selon les conditions d'exploitation. Ces nouveaux tarifs restent bien en deçà de ceux pratiqués en Allemagne, la rentabilité des projets de méthanisation dépendra pour beaucoup des conditions de valorisation de l'énergie thermique. Or, la production de chaleur, aisément valorisable en totalité en période froide, est généralement excédentaire en période chaude.

Schéma général d'une installation de méthanisation

Une unité de méthanisation comprend au minimum les équipements suivants, nécessaires au déroulement du processus : pré-fosse d'alimentation en effluent liquide (1), trémie d'alimentation en substrat sec (2) digesteur anaérobie (3), stockage du biogaz (4), cogénérateur (5), réseau d'eau chaude (6), réseau électrique (7).

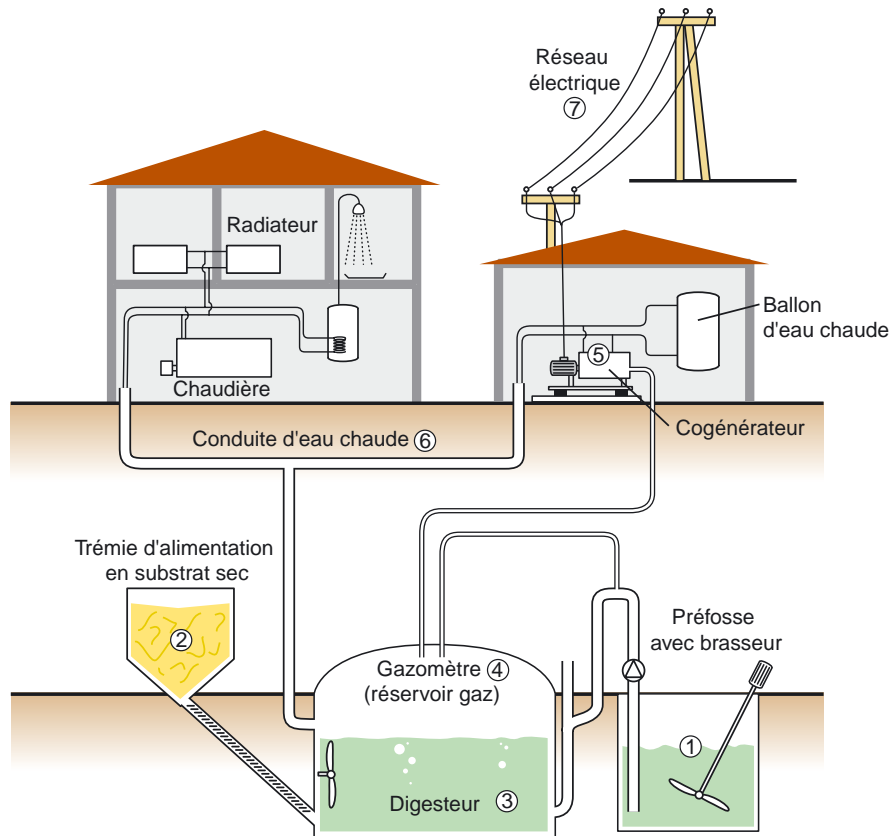


Figure1 : Schéma général d'une installation de méthanisation

Le dimensionnement des équipements diffère notablement entre les installations visitées. Cette grande diversité s'observe plus globalement au niveau du parc européen, les capacités des installations s'échelonnant de 1 500 à 100 000 t de matière brute/an. De même, les équipements, décrits dans les chapitres suivants, sont très divers : ainsi, pour les 5 installations visitées, les coûts d'investissement vont de 250 000 à 1 500 000 €, avec une moyenne de 670 000 €, pour une puissance électrique produite annuellement de 400 à 1 800 MWh. Le dimensionnement de l'unité de méthanisation s'apprécie en divisant cette quantité d'électricité par le nombre d'heures de fonctionnement du cogénérateur, compris entre 7 500 et 8 000 heures/an.

Depuis la mise en place d'une politique d'achat de l'électricité particulièrement incitative, les puissances installées en Allemagne ne cessent de croître, aidées également par d'importantes économies d'échelle ; le montant des investissements s'accroît donc, alors que, dans le même temps, les subventions à l'installation se réduisent.

L'alimentation des digesteurs

Les intrants

Les procédés allemands de méthanisation à la ferme sont essentiellement axés sur la digestion d'effluents liquides compte tenu, notamment, des disponibilités des exploitations en lisiers ou purins (nous ne parlerons pas ici des unités de méthanisation « sèche » qui font appel à des procédés différents et qui, en Allemagne, ne devraient pas représenter plus de 10/20 unités sur les 3000 en fonctionnement en 2006). Les déjections animales liquides présentent



l'avantage d'être « pompables » et sont propices à l'application de bonnes conditions d'anaérobiose.

Toutefois, compte tenu de leur teneur en eau élevée et d'un déséquilibre en nutriments (notamment un rapport C/N réduit), l'emploi d'un, ou de préférence, de plusieurs co-substrats, permet d'optimiser la production de méthane. Aux dires des exploitants allemands, la diversité des sources permet d'équilibrer les apports au digesteur et les besoins alimentaires des différentes populations bactériennes intervenant dans le processus de méthanisation. Les graisses sont ainsi intéressantes car particulièrement méthanogènes ; toutefois, distribuées en excès, elles peuvent acidifier le pH et bloquer la méthanisation.

Outre la diversité, les proportions doivent respecter certaines règles. Lorsqu'il n'y a qu'un seul co-substrat, les apports relativement au lisier sont de 50/50 alors qu'avec plusieurs substrats, il semble envisageable de réduire la part de lisier. La teneur en matière sèche du mélange ne doit toutefois pas excéder 15 % afin qu'il puisse être pompé. Dans les 5 sites visités, cette teneur en matière sèche était comprise entre 9 et 15 %.

Inversement, l'exploitation peut parfois manquer de déjections liquides. C'est le cas de l'exploitation n°1 qui, ne disposant que de 200 m³/an de lisier de porc, doit importer du lisier des exploitations voisines mais également faire recirculer une fraction du digestat afin que le mélange puisse être pompé et en anaérobiose. Cette technique présente par contre l'inconvénient de réduire la capacité méthanogène du mélange.

Quels sont les substrats secs potentiellement utilisables ? De

nombreux composants fermentescibles peuvent être employés mais, compte tenu de la prime à l'utilisation de cultures énergétiques (=NaWaRo pour NachWachsende Rohstoffe ; voir encart), les exploitants allemands privilégient cette voie. La fiche descriptive montre la diversité des cultures dites énergétiques utilisables à cet effet : le site n°4, à l'image de beaucoup d'unités de méthanisation, réalise des ensilages d'herbe et de maïs identiques à ceux destinés à ses bovins laitiers. L'exploitant allemand peut également s'approvisionner en substrats exogènes à l'exploitation tels que graisses, pain rassis, tonte d'herbe en provenance de collectivités,... le produit et la distance à parcourir dépendant des disponibilités locales. Ainsi, l'unique unité collective visitée (site n°3) va jusqu'à 50 km pour s'approvisionner en déchets de repas. Cette opération reste cependant rentable en raison des indemnités perçues (35 €/tonne). En France, où les zones d'élevage sont concentrées, la disponibilité en substrats exogènes serait nécessairement limitée en cas d'engouement pour ce procédé et la mise en œuvre de cultures énergétiques spécifiques devrait s'avérer trop coûteuse.

Si la disponibilité des intrants est irrégulière et non quotidienne, les exploitants doivent envisager des ouvrages de stockage. Toutes les exploitations visitées avaient des productions animales et disposaient donc régulièrement de lisier ou de purin. Une préfosse de dimensions réduites (50 à 200 m³) permet de tamponner les flux. Elle est souvent équipée d'un brasseur. L'alimentation du digesteur est ensuite automatisée par une pompe de transfert dont la fréquence de fonctionnement est variable (2 fois par semaine pour le digesteur du site n°4, par exemple).

La production annuelle de cultures énergétiques, nécessite des silos de stockage, souvent en couloirs dans le cas des ensilages de maïs ou d'herbe. Ces substrats secs demandent un peu plus de manutention puisque les exploitants doivent régulièrement approvisionner une trémie de réception, reliée au digesteur par une vis sans fin (photo 1, site 4). Ainsi l'exploitant du site n°4 alimente sa trémie 3 fois par semaine. Ensuite l'approvisionnement du digesteur par la vis sans fin est variable : 20 secondes toutes les 20 minutes par exemple pour le post-digesteur du site n°5.

A l'issue de ce voyage d'étude, il reste difficile de déterminer les conditions optimales d'alimentation des digesteurs. Les modalités sont souvent choisies en réponse à des contingences pratiques ou sont basées sur des expériences empiriques.

Digesteur et digestion

Les digesteurs et les modalités de la digestion anaérobie peuvent présenter de nombreuses variantes : technologie employée, temps de rétention, critères de chauffage et de brassage,...

Le mode de méthanisation le plus usité est celui de l'infiniment mélangé dans lequel l'intrant frais côtoie du digestat plus mature. Ce mode de digestion anaérobie était présent dans les 5 sites visités. Le système du piston constitue une alternative : la méthanisation a alors généralement lieu dans un cylindre disposé horizontalement sans qu'il y ait mélange entre l'intrant frais (qui entre par l'une des extrémités) et le digestat plus âgé (qui sort par l'autre ; cf photo 2, site 2). Dans ces deux systèmes, les flux de matière sont continus. L'alimentation par batch est bien

Les procédés allemands de méthanisation à la ferme sont essentiellement axés sur la digestion d'effluents liquides.

Les déjections animales liquides présentent l'avantage d'être « pompables » et sont propices à l'application de bonnes conditions d'anaérobiose.

Le mode de méthanisation le plus usité est celui de l'infiniment mélangé dans lequel l'intrant frais côtoie du digestat plus mature.



Fiches synthétique de présentation des unités de méthanisation visitées (1)

	Site 1 Mr K.-H. Gretz 75045 Walzbachtal	Site 2 Mr E. Holz 71546 Aspach	Site 3 unité collective 74549 Wolpertshausen	Site 4 Mr Fiehl 92361 Berggau	Site 5 Mr C. Schneider 91580 Petersaurach
Mise en service	2003 mise en route du moteur de 70 kWe 2004 celui de 140 kWe	Octobre 2005 Arrêt de l'ancienne installation	1996	Juillet 2005	Ancienne installation 1997 Nouvelle installation 2005
Substrats méthanisés	- 200 m ³ /an de lisier de porc + lisier provenant de ses voisins - Cultures énergétiques : 8 ha de seigle 50 ha d'ensilage maïs 7-10 ha de Betterave (120/150 tonnes/an) 40 ha de blé 5 ha d'herbe Soit 19 m ³ /jour	- Effluent d'élevage de 90 bovins viandes et 40 places de porcs à l'engrais - 36 t/an environ de paille et 700 t/an environ d'ensilage d'herbe et de trèfle Volume quotidien méconnu (pas suffisamment de recul)	- Lisier et un peu de fumier pour 2500 m ³ /an (auprès de 3 agriculteurs) - Restes de repas et déchets gras pour 2500 m ³ /an Soit 13,7 m ³ /jour	- 2400 m ³ /j de lisier de bovins - 365 m ³ /j de fumier - 1100 m ³ /j ensilage de maïs - 1100 m ³ /j ensilage d'herbe Soit 13,5 m ³ /jour	- 95 UGB de porcs à l'engraissement - 365 t/an d'ensilage de maïs et de triticale (équivalent de 110 ha) -
Installations	- Equipement de conservation des phases liquides - Préfosse de mélange de 50 m ³ - Digesteur Lipp de 600 m ³ - TRH : 20 jours - Bassin de stockage des digestats de 1500 m ³	- 1 digesteur primaire horizontal de 100 m ³ - 1 digesteur béton vertical de 1000 m ³ les 2 sont brassés, isolés thermiquement et chauffés TRH de 3-4 mois	- 1 digesteur acier horizontal de 120 m ³ (TRH de 6 jours) - 2 digesteurs béton de 430 m ³ chacun (TRH de 20 jours). - Bassin de stockage du digestat - Chaudière pour la pasteurisation des déchets	- 1 trémie d'alimentation - 1 préfosse de 90 m ³ pour les effluents liquides - 1 digesteur béton de 1000 m ³ - 1 post digesteur de 1200 m ³	Ancienne installation - 1 digesteur béton de 450 m ³ - 1 post digesteur Nouvelle installation - 1 trémis d'alimentation - 1 digesteur béton de 1000 m ³ - 1 fosse de stockage du digestat de 1200 m ³
Cogénérateurs	2 moteurs à gaz Liebherr de 70 et 140 kWe	1 moteur à gaz Liebherr de 50 kWe + 30 kWe de la première installation.	3 moteurs dual-fuel (2x75 et 100 kWe)	1 moteur à gaz Hans Jürgen Schnell de 180 kWe	3 moteurs à gaz : 18,5 - 40 et 100 kWe
Coût d'investissement	600 000 €	250 000 € dont beaucoup d'autoconstruction	1500 000 €	550 000 €	380 000 € pour la seconde installation, 80 000 € pour la première
Rachat de l'électricité	1500 MWh à 16,5 ct.€/kWh	Environ 400 MWh à 19,5 ct.€/kWh	1800 MWh à 10 ct.€/kWh 1000 MWh à 6,4 ct.€/kWh	Electricité reprise à 17,5 ct.€/kWh	1000 MWh à 19,5 ct.€/kWh
Valorisation de la chaleur (2) + autres recettes	Chauffage de la maison et des bâtiments agricoles Envisage d'effectuer du séchage à façon	Séchage de foin et de céréales. Chauffage de 2 maisons d'habitation	Chauffage de 20 habitations et zone artisanale + indemnisation traitement des déchets 35 €/t	Chauffage de la maison d'habitation	Chauffage de maisons d'habitation, d'un magasin et d'un atelier de découpe
Principaux problèmes rencontrés	Problème de moussage sur la phase d'acidification, résolu par l'introduction de vieux pain et d'huile de colza/soja	-	Production de chaleur nécessaire toute l'année donc nécessité d'une chaudière pour compenser l'irrégularité de la production de méthane	-	-
Particularités diverses	Producteur d'électricité avant tout. L'augmentation de sa puissance électrique, l'a obligé à réduire son TRH : la phase d'hydrolyse et d'acidogénèse ont lieu dans un pré-digesteur chauffé	20 % du méthane est produit dans le digesteur primaire et 80 % dans le second Substrat à 12-14 % de MS	N'utilisant pas de NaWaRo pas de prime correspondante par contre choix pour les indemnités de retraitement des déchets	-	Les 4 (post) digesteurs sont reliés entre eux pour la collecte du biogaz

(1) TRH : Temps de Rétention Hydraulique

(2) Outre le maintien en température du digesteur



plus rare, et s'applique plus aisément à la méthanisation de substrats solides.

Dans le mode « infiniment mélangé », les digesteurs peuvent être en acier inox (photo 3, site 1) ou en béton (photo de la 1^{ère} page, site 2). Ils sont toujours en acier dans le cas des pistons.

Les digesteurs sont systématiquement brassés afin d'homogénéiser les nutriments, la température, ... et d'optimiser le travail des bactéries méthanogènes. Chaque constructeur propose son propre dispositif : brasseur à rotation lente ou rapide, malaxeur sur axe radial, ... là aussi, il est difficile de hiérarchiser les équipements pour leur rapport efficacité/prix.

La production de méthane s'élève avec la température ; cependant, la digestion anaérobie n'étant pas exothermique, le digesteur doit être chauffé et isolé. Pour cela, il est le plus souvent équipé d'un réseau de canalisations internes dans lesquelles circule de l'eau chaude. Le choix du mode mésophile (35-40°C) semble constituer un bon compromis entre le rendement de la méthanisation et l'énergie thermique nécessaire au maintien en température du digesteur. Certaines unités privilégient des températures plus élevées comme le site n°5 où l'objectif de température dans le digesteur est de 50 voire 55°C. Cela peut être intéressant lorsque la production d'électricité est privilégiée au détriment de la chaleur. Ces températures élevées peuvent également être imposées par la réglementation allemande dans le cadre du traitement de déchets fermentescibles issus des collectivités.

Selon les besoins, les constructeurs ont la possibilité d'amé-

nager des variantes dans les digesteurs. Lorsque l'exploitant désire augmenter sa puissance électrique, il lui faudra apporter des intrants supplémentaires. Il n'est pas toujours rentable de construire un second digesteur fonctionnant en parallèle du premier ; l'une des solutions consiste alors à construire un digesteur secondaire, placé en amont ou en aval du digesteur principal afin de maintenir le temps de rétention hydraulique (TRH) global nécessaire à la méthanogénèse. Selon sa position, il contribuera soit à la phase d'hydrolyse (digeresteur primaire), soit à la phase de méthanisation finale des effluents (post-digeresteur). Cette adaptabilité à des évolutions de dimensionnement est une caractéristique intéressante de la méthanisation comme l'illustrent les évolutions des sites 1 et 5. Comme pour le réacteur principal, les digesteurs annexes sont préférentiellement isolés, chauffés et brassés, afin d'optimiser la production de biogaz. Les temps de séjour peuvent n'être que de quelques jours, notamment pour les réacteurs placés en amont du digesteur principal ; dans ce cas, il peut s'agir d'une méthanisation infiniment mélangée ou par piston.

Dans le digesteur principal, les TRH sont, en revanche, plus longs : de 20 à plus de 40 jours. Certains exploitants (comme celui du site 2) peuvent même aller jusqu'à 3 à 4 mois lorsque le digesteur est surdimensionné. Inversement, l'exploitant du site n°1 a réduit son TRH afin d'augmenter sa puissance électrique sans modifier ses digesteurs. Cela lui a été permis en utilisant le tiers supérieur des plants de maïs en remplacement de la plante entière, l'amidon étant plus rapidement biodégradable que la cellulose et, surtout, que la lignine.



Photo 1



Photo 2



Photo 3

La production de biogaz par le ou les digesteurs est continue, son utilisation l'est également. La capacité de stockage du gaz produit est adaptée aux variations de la production. A cet effet, le haut du digesteur est souvent équipé d'une membrane souple (EPDM ou autres) ; dans le cas des pistons, le stockage du gaz a lieu en poche souple extérieure ; lorsqu'il est disposé en tête de traitement (photo 2, site 2), le stockage du biogaz a lieu dans le digesteur principal.



cogénérateur

La méthanisation présente aussi des difficultés propres au procédé : outre les problèmes spécifiques rencontrés par les exploitants (voir fiche synthétique), la production de H₂S est une particularité du processus de méthanisation. Ce gaz toxique et corrosif peut être capté en insufflant de l'air à la surface du liquide afin de favoriser la formation de soufre qui se redissout dans l'effluent ; cette technique présente cependant l'inconvénient de réduire la proportion de méthane dans le biogaz et produit une atmosphère très oxydative nécessitant l'emploi d'acier inoxydable ou de béton de très bonne qualité.

deux types de moteurs représentent respectivement 28 et 72 % du parc allemand. Selon les témoignages recueillis, les moteurs à gaz seraient plus durables mais plus coûteux que les « dual-fuel ». Dans les premiers, l'allumage est commandé comme dans un moteur à essence traditionnel, tandis que dans les seconds, il se produit par auto-inflammation après compression (comme dans un moteur diesel d'automobile) ce qui nécessite une incorporation minimale de fuel au carburant de 6 à 10 % de l'énergie totale.

Globalement les rendements de production d'énergie électrique (par rapport à l'énergie totale consommée) sont en moyenne de 30/33 % pour les Dual-Fuel ; dans les unités de forte puissance (> 100 kW) ils peuvent toutefois atteindre 41-43 %. Ainsi l'installation collective visitée (site n°3) disposait de nouveaux moteurs permettant d'atteindre 40 % de rendement électrique. Pour les moteurs à gaz, les rendements sont plus réduits, de l'ordre de 25 à 30 % mais ils n'utilisent pas d'autre carburant que le biogaz produit. Enfin, d'autres technologies semblent émerger, comme les

micro-turbines, mais elles représentent actuellement moins de 1 % des unités en fonctionnement.

Dans le cas de la cogénération, les rendements de transformation et d'utilisation de l'énergie brute sont globalement les suivants :

- **33% sous forme d'énergie électrique**, dont 5% autoconsommés par le process et 27% disponibles pour la vente,
- **67% sous forme de chaleur** dont 43% sont potentiellement utilisables par l'exploitant, le reste étant, soit utilisé pour le maintien en température du digesteur (12%), soit perdu lors du process (12%).

Ces pourcentages d'affectation sont toutefois variables selon le type d'équipement et les conditions d'exploitation. Ainsi l'autoconsommation peut descendre à 2 % si l'installation est très performante et de forte puissance (> 100 kWh). L'énergie utilisée pour le maintien en température du biodigesteur dépend de la température extérieure (donc la saison), de la qualité de l'isolation, du mode de méthanisation choisi, ... Enfin, l'utilisation de l'énergie thermique par l'exploitant dépendra de l'incitation tarifaire et des possibilités et besoins de l'exploitation : séchage du foin, réseau de chaleur, chauffage des post-sevrages et maternités, ... En Allemagne, les conditions tarifaires de rachat de l'électricité sont si favorables que la valorisation de l'énergie thermique ne constitue généralement pas une priorité malgré une incitation tarifaire spécifique de 2 centimes d'euros/kWh. Le site N°3 constitue cependant un bon contre-exemple : la chaleur est vendue 6,5 ct.€/kWh à une vingtaine de clients (les prix se situant habituellement en Allemagne entre 4,5 et 5,0 ct.€/kWh) avec toutefois une obligation de four-

En Allemagne, les conditions tarifaires de rachat de l'électricité sont si favorables que la valorisation de l'énergie thermique ne constitue pas une priorité.

Production et valorisation de l'énergie électrique et thermique

Le biogaz issu du réacteur permet de produire de l'électricité à la condition de disposer d'un cogénérateur. Il est alors utilisé comme carburant dans un moteur permettant de faire fonctionner un alternateur. Il peut être utilisé seul, dans un moteur à gaz, ou en association avec du fuel, dans un moteur dit « dual-fuel ». Ces

Politique de rachat de l'électricité en Allemagne

La loi EEG (2000) prévoit des tarifs de rachat très incitatifs de l'électricité produite à partir de biogaz et de cultures énergétiques (NaWaRo). Le tarif de base tend cependant à se réduire au fil du temps : 11,5 ct.€/kWh en 2004, 11,12 ct.€/kWh en 2005... Ce tarif est contractualisé sur une période de 20 ans (actuellement la plus longue en Europe), ce qui constitue un élément de sécurité pour faire face à des investissements importants. L'emploi de cultures énergétiques détermine un bonus de 6 ct.€/kWh ; ce supplément n'est pas accordé lorsque l'exploitant utilise des déchets (pain, graisses, résidus de restauration) mais, dans ce cas, une contribution du fournisseur de déchets peut être obtenue pour le service rendu (le site N°3 visité obtenait ainsi un montant de 35 €/t). Par ailleurs, une incitation financière supplémentaire de 2 ct.€/kWh est accordée pour la valorisation de l'énergie thermique. Au total, selon les options choisies et la date de contractualisation, le coût total de rachat de l'électricité oscille entre 15 et 21 ct.€/kWh, ce qui constitue la situation la plus favorable en Europe. Ces prix sont partiellement répercutés auprès des consommateurs, le kWh électrique étant facturé environ 9 ct.€ à l'exploitant allemand et 15 ct.€ au citoyen.



nir de l'énergie tous les jours, ce qui nécessite de faire fonctionner ponctuellement une chaudière au fuel quand la capacité méthanogène des intrants est insuffisante. Pour cette unité collective, le réseau de canalisations, d'environ un kilomètre de long, assure une distribution d'eau à 75°C.

En France, où le contexte d'achat de l'électricité devient bien plus favorable et la prime à la valorisation de l'énergie plus incitative, la méthanisation agricole devrait se développer, notamment les projets dans lesquels une optimisation de la valorisation énergétique a été étudiée.

La main d'œuvre

Il semble que le temps de main d'œuvre soit le plus souvent de l'ordre d'une heure par jour, incluant le temps nécessaire aux travaux de réparation imprévus. Une étude de Fachverband biogas parue en 1997 (citée par Solagro) estimait ce temps quotidien à 35-40 mn. Il s'agit principalement de la surveillance de l'unité de méthanisation (pression des gaz, niveau de remplissage du fermenteur, température de l'effluent), de la maintenance des équipements (niveau d'huile des moteurs, contrôles divers), et de l'approvisionnement des trémies et des préfossees en effluents.

Valorisation agronomique du digestat

La méthanisation s'accompagne d'une minéralisation de la matière organique la plus facilement biodégradable : ainsi l'azote organique est partiellement minéralisé sous forme d'azote ammoniacal. La proportion de ce dernier, qui est déjà de 65-70 % environ dans un lisier de porc, tend donc à augmenter. La qualité agronomi-

que de l'effluent s'en trouve donc améliorée, la fraction azotée du digestat étant plus rapidement assimilable par les cultures.

Dans le contexte de la résorption des excédents azotés en Bretagne, cette capacité de la méthanisation à minéraliser l'effluent permettrait d'améliorer le rendement d'élimination de l'azote dans les stations de traitement biologique par boue activée : en effet, ce procédé volatilise sous forme de N₂ la quasi-totalité de la fraction ammoniacale du lisier. La chaleur produite par le méthaniseur pourrait aussi servir à la déshydratation

des co-produits, l'énergie électrique pouvant également, selon les prix en vigueur, être vendue, utilisée par l'unité de traitement ou par l'élevage. La méthanisation engendre toutefois une perte de 50 % environ du carbone, sous forme de méthane et/ou de gaz carbonique ; cela pourrait le cas échéant perturber le déroulement de la phase de dénitrification, très consommatrice de carbone. Une analyse approfondie est donc nécessaire pour mesurer de façon plus précise l'intérêt technique et économique de ce couplage méthanisation/traitement biologique par boue activée.

Il semble que le temps de main d'œuvre soit le plus souvent de l'ordre d'une heure par jour.

Méthanisation, vers un modèle Français !

Pour pallier au coût de rachat de l'électricité, moindre en France qu'en Europe, les stations de méthanisation en France doivent être très performantes, afin que l'équilibre financier et la rentabilité soient atteints.

Le concept même de la méthanisation n'est pas à réinventer, il faut simplement prendre modèle sur ce qui marche bien ailleurs. Par contre il faut optimiser et contrôler les points suivants : gisement des coproduits entrants, valorisation du biogaz, valorisation du substrat.

a) gisement des coproduits entrants

Seules des analyses chimiques en laboratoire peuvent déterminer le potentiel méthanogène des coproduits de proximité disponibles. Cette phase importante permettra au bureau d'étude de connaître parfaitement le futur rendement de la station.

b) valorisation du biogaz

Il existe de multiples façons de valoriser le biogaz, là aussi, une étude approfondie permettra de trouver la meilleure méthode et le meilleur rapport investissement/ rapport futur. Des solutions très prometteuses voient le jour, (microturbine, trigénération etc...) l'application industrielle de ces nouveaux procédés est pour demain, avec à la clef de nouvelles perspectives.

c) valorisation du substrat

Les essais réalisés en laboratoire sont également très prometteurs en ce qui concerne le couplage d'une unité de méthanisation et de traitement biologique. Il reste à valider *in situ* cette étape.

En conclusion :

Une station de méthanisation doit être réalisée comme un concept industriel, et gérée comme telle. C'est avant tout une unité de production d'énergies. Un simple transfert des modèles européens ne sera pas satisfaisant, la phase d'étude doit être effectuée avec soin et compétences, c'est la clef du succès des futures stations de méthanisation françaises.

BET ARMORIQUE

Bureau d'études spécialisé en énergies renouvelables, BP 344, 22600 LOUDEAC
Tel 02 96 66 44 89 - Portable 06 85 58 70 64 - Email : betarmorique@wanadoo.fr



En France, malgré une augmentation significative du tarif d'achat de l'électricité, tous les autres facteurs de rentabilité devront être optimisés afin de pouvoir atteindre, dans des délais acceptables, un retour sur investissement.

La méthanisation a d'autres effets bénéfiques telles que la désodorisation et l'hygiénisation partielle du digestat, bien appréciés par les exploitants allemands, qui utilisent l'effluent principalement par épandage sur des cultures énergétiques. L'accroissement du besoin en surfaces agricoles nécessaires à la production de ces cultures énergétiques et à la valorisation des digestats de méthanisation ont d'ailleurs pour effet d'intensifier la pression foncière et d'augmenter le prix des terres ; dans certains cas, cela peut devenir un frein au développement des unités de méthanisation ou limiter leur dimension.

Selon l'exploitant du site n°2, les effets bénéfiques de la méthanisation sur les effluents d'élevage constituaient il y a 10 ou 20 ans, la principale motivation des exploitants allemands pour cette technique. Actuellement, dans un contexte de prix d'achat de l'électricité beaucoup plus incitatif, la méthanisation est plus souvent envisagée comme une opération financièrement attractive, permettant un retour sur investissement en parfois 5 à 6 ans.

Une simplification et/ou une adaptation des procédures réglementaires seront également nécessaires si l'on souhaite un développement de la méthanisation en France.

Conclusion

Les techniques de méthanisation présentent de multiples configurations techniques. Toutefois le procédé de l'« infiniment mélangé » en alimentation continue et l'utilisation des cogénérateurs « dual-fuel » sont les techniques les plus souvent mises en œuvre. De même, l'exploitation en conditions de température mésophiles, associée à l'ajout de co-substrats et visant à maximiser la méthanogénèse, est le plus souvent choisie, en relation avec le contexte réglementaire et tarifaire.

En raison d'une politique en faveur du développement des énergies renouvelables très incitative, les exploitants allemands recourant à la méthanisation semblent être devenus essentiellement des producteurs d'électricité. La prime supplémentaire de 2 ct.€/kWh accordée pour la valorisation de l'énergie thermique n'a pas un impact suffisant pour stimuler une utilisation rationnelle de cette énergie, qui est le plus souvent perdue.

Une diversité subsiste néanmoins pour certains paramètres techniques (choix et proportion des différents intrants, éléments du process, ...) sur lesquels il reste difficile de se prononcer techniquement et économiquement. Dans tous les cas, le procédé fait la preuve de sa souplesse d'utilisation et de son adaptation possible à de multiples contextes de disponibilité en matières organiques.

En France, malgré une augmentation significative du tarif d'achat de l'électricité, tous les autres facteurs de rentabilité devront être optimisés afin de pouvoir atteindre, dans des délais acceptables, un retour sur investissement. En tout premier lieu, il s'agira de bien valoriser l'énergie thermique, notamment en période chaude, et de limiter autant que possible le niveau des investissements. Une simplification et/ou une adaptation des procédures réglementaires (contrat de reprise avec EDF, statut des digestats, des installations de méthanisation, possibilités de transfert du biogaz,...) seront également nécessaires si l'on souhaite un développement de la méthanisation en France. ■

Contact :
pascal.levasseur@ifip.asso.fr

Références bibliographiques

- AND, 2004. Le marché de la méthanisation en France. Hypothèse d'évolution de 5 à 10 ans. Synthèse réalisée pour GDF-ADEME.
- AILE – ADEME – Région Bretagne, 2004. Méthanisation des déchets organiques à la ferme : opportunités et développements. Colloque régional du 16 mars 2004.
- Fruteau H. et Membrez Yves, 2004. Référentiel technico-économique des unités de méthanisation de produits organiques agricoles et non agricoles à petite échelle en Europe. Document réalisé par EREP pour l'ADEME.
- GIDA, 1980. Le biométhane à la ferme. Ed ITP, 103 p.
- Schubetzer C., Théobald O. et Wenisch S. 2006. La méthanisation : une autre solution pour une gestion de proximité.
- SOLAGRO. Assistance à maîtrise d'ouvrage sur un projet de méthanisation de lisiers de porcs en mélange avec des co-substrats industriels (Lot). Quinzaine de pré-diagnostics méthanisation en France réalisés depuis 2001
- SOLAGRO, 2005. La méthanisation à la ferme. Fiches 10 p disponibles sur www.solagro.org
- Théobald O., Schubetzer C., 2006. La méthanisation en agriculture: technologies utilisées, intérêts économiques et environnementaux. Journées AFPP – Prairies, élevage, consommation d'énergie et GES.